

文章编号:1673-8411 (2016) 02-0030-08

南宁市灰霾天气概念模型及预报研究

梁岱云, 苏兆达, 白龙

(广西南宁市气象局, 南宁 530029)

摘要:通过对 2000 年以来南宁市 9 个气象站中出现 4 站及以上的灰霾天气个例共 50 个过程的地面资料、探空资料分析和环流形势图进行总结分析,得出灰霾天气出现时,探空层结和地面要素的特征,并将南宁市出现灰霾天气的大气环流形势分为干型和湿型两大类,其中湿型又可分为三小类:(1)高后型;(2)弱冷空气型;(3)副高型,总结出每一类灰霾天气的发展、严重和消散阶段的环流和地面要素、探空层结特征,并根据研究结果,得出南宁市灰霾天气的客观预报模型。

关键词:灰霾;概念模型;南宁

中图分类号:P49

文献标识码:A

Conceptual Model and forecast of haze weather in Nanning

Liang Daiyun¹, Su Zhaoda¹, Bai Long¹

(1 Nanning Municipal Meteorological Service, Nanning 530029)

Abstract: Based on the ground data, sounding data and atmospheric circulation figures of 50 haze processed of Nanning since 2000, the features of sounding stratification and ground variables when haze appeared were analyzed. The atmospheric circulations were divided into dry and wet types, in which the wet model contains three types: (1) high post type; (2) weak cold air type; (3) subtropical anticyclone type. On the basis of types of haze, the characteristics of atmospheric circulation, sounding stratification and ground variables on development, serious and disappear stages were summed up to get the objective forecast model.

Key words: haze; conceptual model; Nanning

引言

近几年来,大气环境的污染问题受到人们的普遍关注,灰霾天气与大气污染程度密切相关,严重影响空气质量,对人民生活和健康有不利的影响,因此灰霾天气出现的大气环境以及与气象因素之间的关系也逐渐引起气象工作者的重视。吴兑等认为,东南沿海各省不成文规定的用相对湿度区分的标准普遍

偏低,将大量霾记成了轻雾或雾,建议将相对湿度的阈值定为 90%,作为区分轻雾(雾)与霾的辅助判据^[1-4]。张宝贵、李德平、孙燕等都对霾与气象要素之间的统计关系进行了研究,指出霾天气与能见度、相对湿度、风、气压、等气象要素密切相关^[5-14]。陆忠艳、毛宇清、杨琳、李芳、邓涛等用逐步回归、支持向量机(SVM)、数值模式等方法对霾的预报方法做了研究^[15-18]。广西也有不少对霾的研究^[19-23],廖国莲等对近

收稿日期:2015-12-15

基金项目:华南区域气象中心科技攻关项目(GRMC2014M12)、南宁市气象局科研项目(南气科 201404)共同资助

作者简介:梁岱云(1972-),女,汉族,广西南宁,高级工程师,主要从事短期天气预报和环境预报研究。

50 年广西霾的时空变化分析表明:广西霾天气主要发生在秋冬季,主要城市及周边地区霾日多,除空气污染外,近 50 年风速呈下降趋势可能导致更多的霾天气^[19]。程爱珍、刘传、唐利利等对南宁市的霾的特征和成因进行了研究,认为 1956–2011 年间南宁市霾天气的年际变化前 45 年变化平稳,后 11 年变化明显增多,PM_{2.5} 是直接造成南宁灰霾的主要因子^[24–26]。

但大多数对霾的研究只对霾与气象要素和大气成分进行统计分析,欠缺具体过程的总结和机理分析,对灰霾天气的概念模型总结较少,对灰霾天气的预报停留在根据监测数据加上简单要素分析外推的阶段,特别是南宁市地处华南季风气候区,其大气环流形势特别是水汽的条件与北方地区差别较大,由于缺乏对大气环流形势对灰霾天气的影响机理分析,常出现误报。根据前人的研究及南宁市本地的灰霾天气月季分布特征,通过对 2000 年以来南宁市 9 个气象站中出现 4 站及以上灰霾天气的 50 个过程的探空资料分析和环流形势进行总结分析,试图总结出南宁出现灰霾天气的概念模型,加深对灰霾天气出现的机理认识,并根据灰霾天气与气象要素的关系,给出灰霾天气的预报模型。

1 资料来源及其相关定义

的是南宁,其次是上林、宾阳、邕宁及横县,最少的是马山和武鸣(表 1)。

其中,出现 4 站(含 4 站)的霾持续两天(含两天)以上过程达 50 次,通过对这 50 个个例的探空图、地面图、高空图进行的要素统计,得到以下结论:

2.1 探空层结特性

南宁探空站 08 时的 TlogP 图进行分析,发现灰霾天气主要与低层静稳大气层结密切相关,在 850hPa 以下出现逆温层结的个例占 92%,有 4%逆温层出现在 700–800hPa 之间,有 4%没有出现逆温层,92%的个例 T925–T 地面 ≥ −4℃,只有 8%的个

若 1 日内南宁市各县(区)有 ≥4 站出现霾的天气定义为 1 次区域性霾过程。本文搜集 2000–2015 年 5 月全市出现的霾天气资料,共选取区域性霾天气 50 例,相应年份的地面天气图及探空图、地面图、高空图等资料进行统计分析。

霾定义:霾是指大量极细微的尘粒等均匀地悬浮在空中,使水平能见度小于 10 千米的空气普遍混浊现象,也称为灰霾。按《霾的观测和预报等级》(QX/T113–2010)定义^[27],当能见度小于 10 千米,排除了降水、沙尘暴、扬沙、浮尘等天气现象造成的视程障碍,空气相对湿度小于 80%时,判识为霾;相对湿度大于 95%时,判识为雾;相对湿度 80%~95%时,按照地面气象观测规范规定的描述或大气成分指标进一步判识。但在 2014 年中国气象局预报与网络司下发的气预函[2014]4 号文中,要求能见度人工观测的台站保持能见度 10 千米和 1 千米判别阈值不变,空气相对湿度判别阈值恢复到台站历史观测阈值,为保持连续性,本文使用的是南宁各县(区)气象站人工观测天气现象有“霾”记录的为准。

2 统计分析结果

据 2000–2015 年 6 月南宁各县(区)气象站的人工观测数据显示,南宁各县(区)出现霾日数最多

表 1 2000–2015 年 9 月南宁各县(区)气象站的人工观测霾日

站名	南宁	隆安	马山	上林	武鸣	宾阳	邕宁	横县
霾日	677	245	70	591	35	448	386	234

例 < −4℃。而出现逆温层的个例里,92%的逆温层有两层或以上。92%的个例 K 指数小于等于 30,或为负值,Si 指数均为正,表明出现灰霾天气的大气层结非常稳定。

2.2 地面要素分析

08 时地面风速 96%为静风或小于等于 2 米/秒的风,92%为静风或偏北风,8%为偏南风。90%的个例 08 时气压 P ≥ 1015hPa。92%的个例 08 时的 24 小时变压 | ΔP24 | ≤ 3hPa。过程出现前 82%的个例连续三天(含三天)以上无雨,18%无雨的日数小于 3 天。过程结束时,68%是无雨,或只出现局地小

雨,只有 32%是出现大范围的小雨以上天气。

3 南宁市灰霾天气概念模型

通过对 50 个霾过程的分析,发现南宁市出现灰霾天气主要有两类,一类是整天都有霾,一类是早晨出现雾,白天逐渐转化为霾,因此将对应的大气环流形势分为两大类:一、干型;二、湿型。

3.1 干型

本型基本特征是地面湿度较小,整天都出现霾,该类占总样本的 18%(9/50)。该类的主要出现在 12 月和 1 月,主要环流特点为:北方冷空气势力较强,新疆-蒙古一带的冷高压中心不断分裂冷空气南下,我市地面长期为干冷气团控制,无雨,湿度小,并且使北方工业区的空气污染物向南输送,当 850hPa

切变线开始北退时,出现明显逆温层,有利于空气污染物堆积,浓度增加,导致出现霾。

积累阶段:

500hPa 极涡偏东,位于东亚和北美大陆之间,亚洲中纬度为槽后脊前西北气流区,有小槽不断东移,引导地面冷空气不断南下,850hPa 我市上空为偏北气流控制或刚转弱的偏南气流,切变线开始北退,地面新疆有一个强大的冷高压中心,冷空气一股接一股不断向东向南扩散,中国大部基本为冷高压控制,我市也为干冷气团控制。一般连续 5 天以上无雨,地面湿度减小,由于北方空气污染物向南输送以及本地污染物的堆积,使污染物浓度日益增加,出现霾过程的前一天 8 时和 20 时地面的温度露点差一般在 6°C 以上,14 时的地面温度露点差一般在 8°C 以

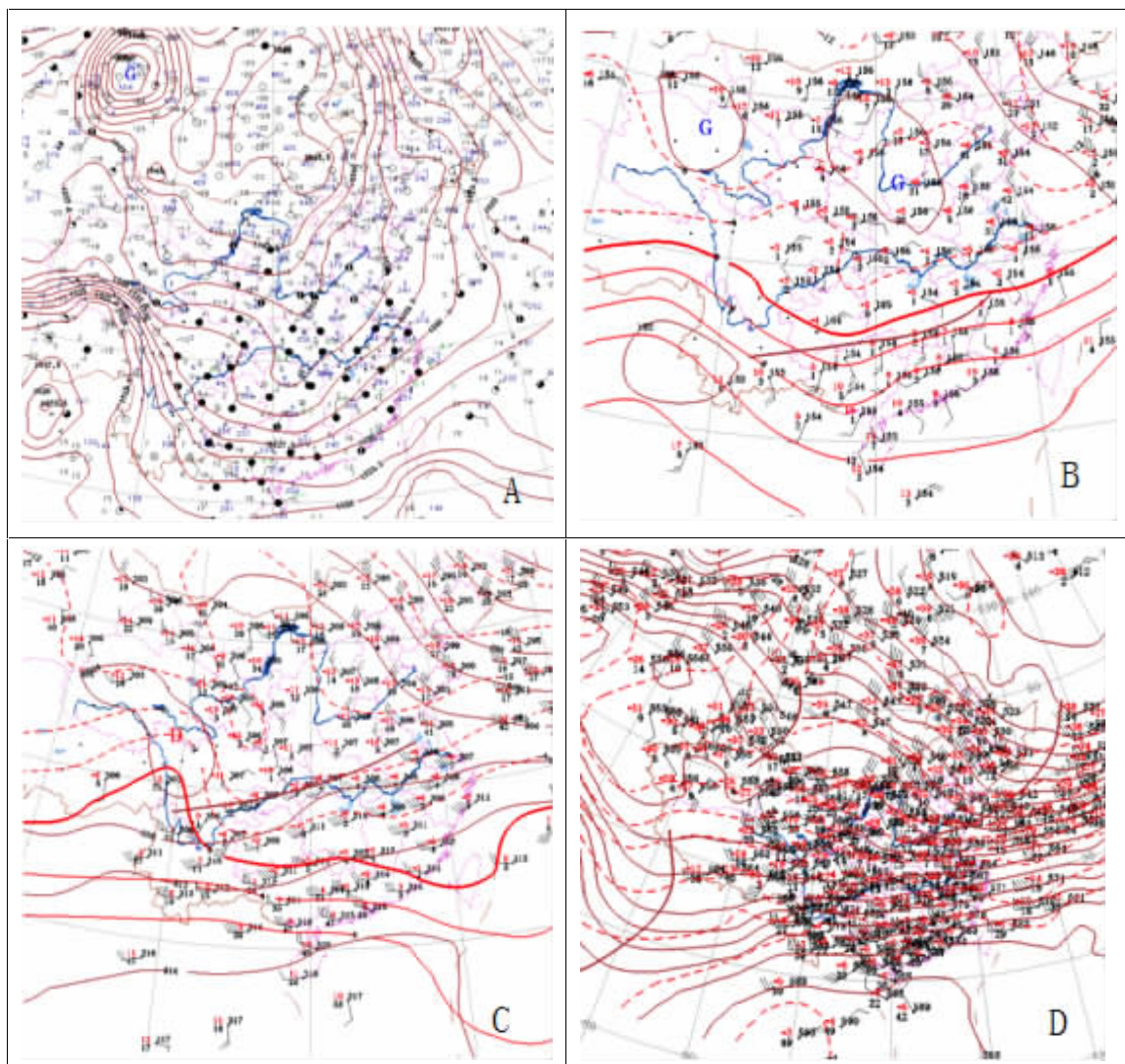


图 1 干型(A 地面气压场 B 850hPa 高度场 C 700hPa 高度场 D 500hPa 高度场)

上。

严重阶段:

我市地面为冷高压控制, 24 小时变压 ≥ 0 , 但二级变压为负, 东北风减小 (≤ 4 米/秒), 850 切变线北退到贵州一带, 切变线南侧为弱的偏南气流, 0°C 等温线也较前一天北退, 夜间出现逆温更加明显, 甚至有两、三个逆温层。从 TlogP 图来看, 气层稳定, 气温随高度先减小后增加, 在 925–850hPa 之间有逆温层, 近地面吹北风, 较干, 850 附近转南风, 略湿, 700hPa 以上基本为偏西到西北气流控制, 非常干。

消散阶段:

冷空气再次补充南下, 850hPa 切变线南压进广西, 零度线范围往南扩, 南宁市地面偏东风转东北风, 风速加大, 我市大部转雨, 由于逆温层减弱, 水平扩散条件转好以及降雨的沉降作用, 使空气污染物浓度减小, 能见度增加, 灰霾过程结束。

3.2 湿型

本型的主要特点是, 夜间湿度较大, 早晨出现雾, 中下午湿度减小, 由雾转霾, 该型占总样本数的 82%, 除夏季外各个季节均可出现。其中, 按季节和影响系统又可分为 1、高后型; 2、弱冷空气型; 3、副高型。

3.2.1 高后型(占总样本数的 22%)

地面为冷高压出海, 地面转偏东风, 低层转南风, 天气晴朗, 夜间有强逆温, 早晨有轻雾, 由于白天晴朗, 湿度减小, 天气现象由雾转化为霾, 在秋冬季较为常见。

积累阶段: 500hPa 中纬度西风带亚欧大陆为两槽一脊型, 我市处在高脊底部的偏西气流区, 南支较弱, 850hPa 为东北到偏东风, 温度露点差大于 8°C , 地面我国大部为冷高压控制, 新疆或蒙古西部有强大的冷高压中心, 一般连续两天以上无雨, 夜间晴空

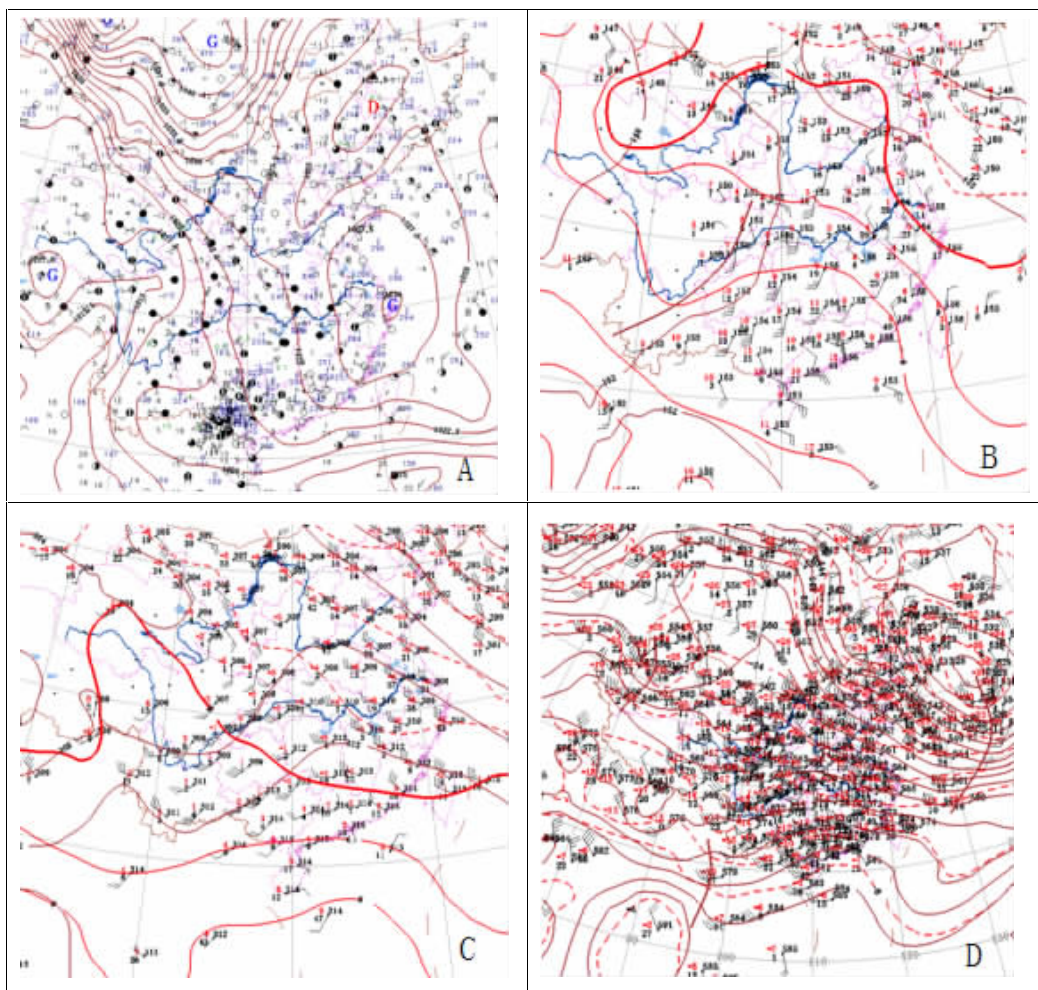


图 2 高后型(A 地面气压场 B 850hPa 高度场 C 700hPa 高度场 D 500hPa 高度场)

辐射强,在 925hPa 以下出现大于 5°C 的逆温,出现霾过程的前一天 08 时地面的温度露点差小于 5°C ,到 14 时温度露点差大于 10°C ,到 20 时,温度露点差又降到了 10°C 以下。

严重阶段:地面冷高压中心从长江口出海,地面 24 小时变压为 1 以下或转负,我市地面由东北风转偏东风,低层 850hPa 由东北风转为东南风,温度回升, 0°C 线北退,但湿度仍较干,夜间仍为晴到少云,逆温更为明显,经过两天以上的积累,空气污染物浓度迅速增加,08 时,出现轻雾,14 时湿度下降,由雾转霾。从 tlogP 图上看,气层非常稳定,气温从地面随高度增加,在 925hPa 以下有强逆温层,特别稳定的层结以及地面弱的风速使空气污染物在近地面堆积,形成霾。

消散阶段:地面及 850hPa 都转为高后偏南气

流,低层湿度大大增加,夜间转为阴天,出现平流雾和局地小雨天气,整天湿度都很大,14 时的温度露点差也小于 5°C ,此时,虽然空气质量并没有好转,但是由于湿度大,所以出现的天气现象是雾,霾过程终止。

3.2.2 弱冷空气型(占总样本数的 22%)

本型的天气特点是:前期较湿,天气现象表现为雾,随着弱冷空气南下,边界层湿度减小,天气转晴,夜间出现逆温,白天由雾转化为霾,在春季较为常见。

积累阶段:500hPa 中纬度西风带亚欧大陆为平直西风气流区,无大槽脊,西风带中有小波动东移,850hPa 为偏南风,温度露点差小于 5°C ,地面新疆有中等强度的冷高压中心,有小股冷空气扩散南下,南宁市前期为冷高压控制,无雨,有逆温,后期冷高压

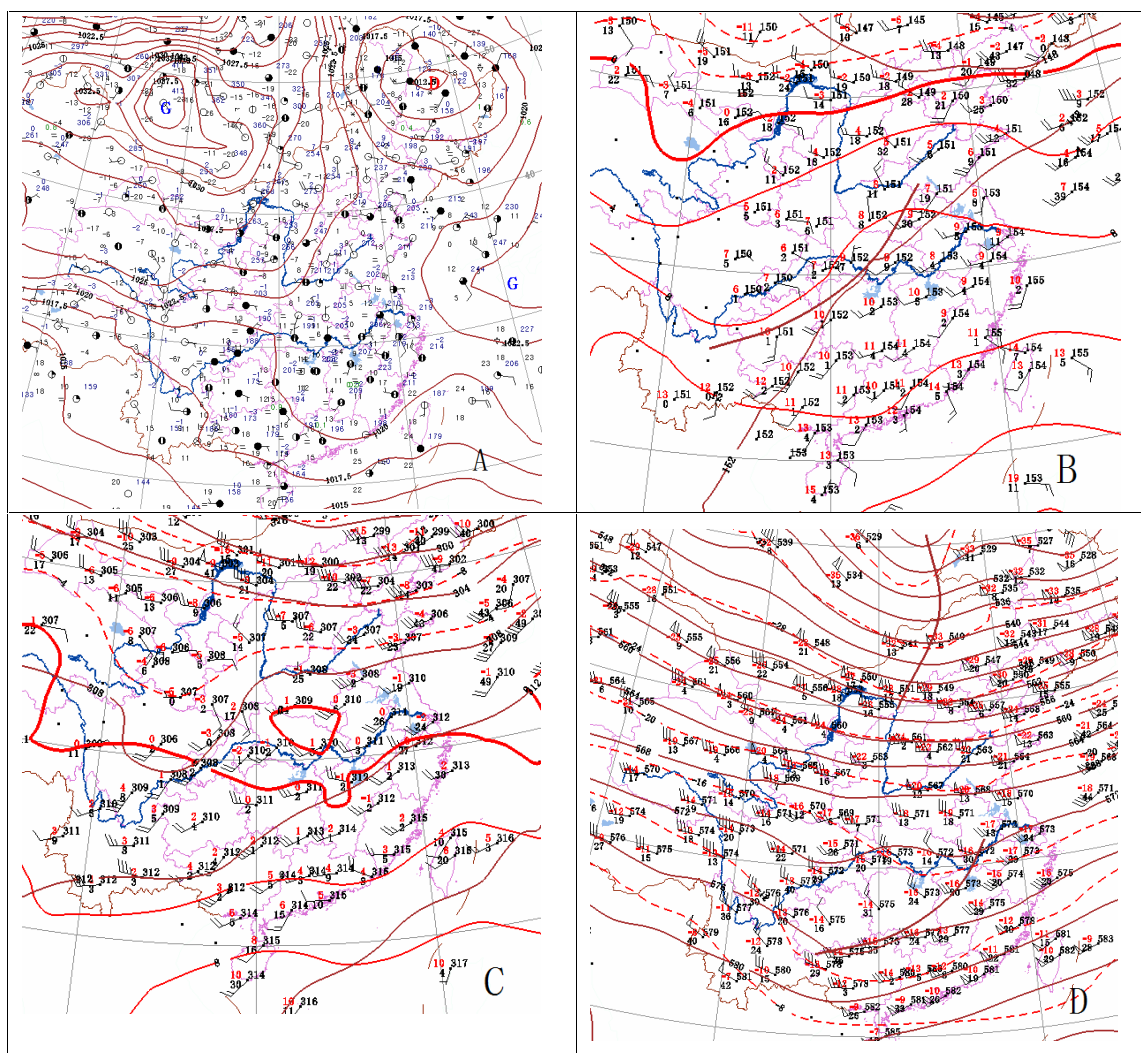


图 3 弱冷空气型(A 地面气压场 B 850hPa 高度场 C 700hPa 高度场 D 500hPa 高度场)

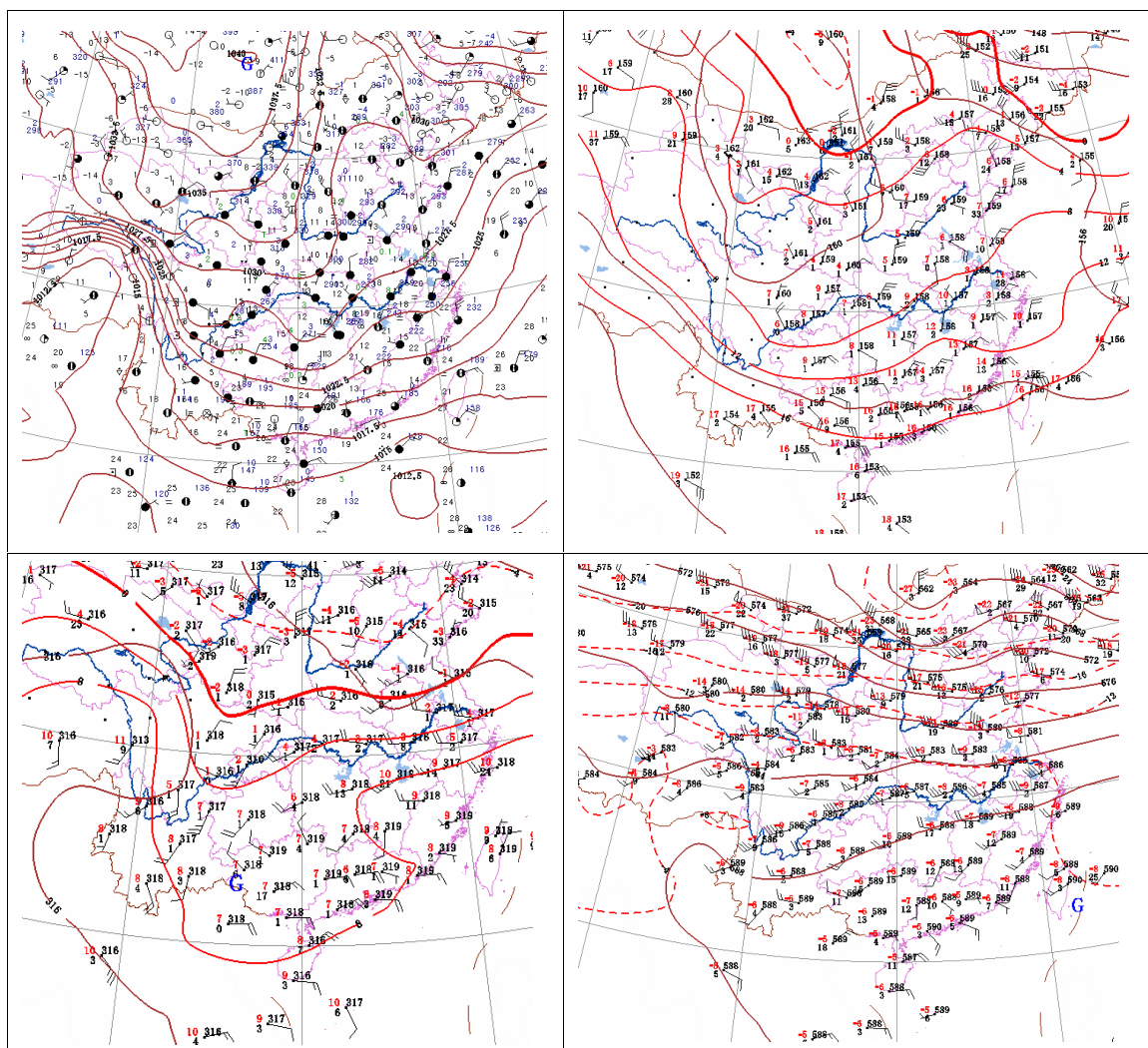


图4 副高型(A 地面气压场 B 850hPa 高度场 C 700hPa 高度场 D 500hPa 高度场)

中心出海, 我市转为高后天气, 逆温层减弱或消失, 700hPa 以下为湿层, 以阴天或局地小雨或雾天气为主。前期由于冷空气较弱, 风小, 并有北方污染物的输入, 转高后天气之后风小, 水汽增多, 气象条件均不利于空气污染物扩散, 致使污染物堆积, 虽然没有出现霾, 但污染物浓度维持在较高水平。

严重阶段: 地面再次有弱冷空气南下, 24 小时转正变压, 南转北风, 出现锋面逆温, 或是干冷气团使近地层湿度减小, 天空转晴, 夜间出现辐射逆温, 清晨出现辐射雾, 白天晴朗湿度减小, 14 时的温度露点差就增大到 8°C 以上, 由雾转霾。从 tlogP 图上看, 低层转北风, 风速较小, 中高层仍为偏南气流, 表明无大槽脊移过, 850 切变线没有南压过南宁, 925hPa 以下有逆温层, 气层稳定, 08 时从地面到 700hPa 都是湿层。

消散阶段: 地面冷高压出海, 850hPa 转南风, 南宁市转为高后偏南气流影响, 低层湿度再次增加, 夜间转为阴天, 出现平流雾和局地小雨天气, 整天湿度都很大, 14 时的温度露点差也小于 5°C , 此时, 虽然空气质量并没有好转, 但是由于湿度大, 所以出现的天气现象是雾, 霾过程终止。另一种情况是大气环流出现调整, 西风带调整为大槽脊, 地面冷高压中心增强, 强冷空气南下后, 风力增大, 使水平扩散条件转好, 污染物浓度减小, 霾天气过程终止。

3.2.3 副高型(占总样本数的 38%)

本性的主要特点是: 南宁市长期为副热带高压北侧或槽后的西北气流控制, 中纬度西风带较平直, 虽然不时有弱冷空气影响, 但是较干, 不形成降水, 850–700hPa 也基本上是偏北气流控制, 地面为变性高压脊控制吹弱的偏北风, 天气晴朗, 夜间出现

较强逆温,有利于空气污染物堆积,清晨出现辐射雾,太阳出来后雾消散,由雾转霾,在秋季较为常见。

积累阶段:500hPa 副高控制华南,中纬度较平直,有小槽脊不断东移,有时副高南撤,广西就为槽后偏北气流控制,或者在西太平洋上有台风生成从东海北上,广西位于其西侧东北下沉气流区,850hPa 为东北气流影响,地面为变性高压脊控制。南宁市出现 3 天以上无雨弱偏北风天气,天空云量逐渐减少,夜间逐渐出现弱的逆温,桂林柳州等地开始出现霾。无雨、微风及趋于静稳的层结有利于空气污染物的堆积,弱的偏北风还对南宁市的空气污染物有输入作用。

严重阶段:850–700hPa 湿度逐渐减小到 60%以下,850–925hPa 为东北风或逐渐转为东南风,风速 ≤ 8 米/秒,夜间转晴,日温差在 10°C 以上,夜间 1000 米以下逆温增强, $T_{925}-T_{\text{地面}}\geq 4^{\circ}\text{C}$,地面 08 时有雾或轻雾,14 时温度露点差 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ 。

消散阶段:大气环流调整,高空槽引导切变线和冷空气南下,副高减退,如果低层转南风三天以上,水汽输送转好,那么南宁出现大范围的降雨,但大多数个例水汽条件仍欠缺,南宁转为阴天,无降水,地面偏北风加大到 4 米/秒以上,由于水平扩散条件转好,夜间逆温减弱或消失,以及降雨的沉降作用,空气质量转好,霾减弱或消失。

4 灰霾天气预报

通过上述研究,得出南宁市灰霾天气与 PM_{2.5} 浓度、地面风速、地面气压场、连续不降水日数、逆温层、降雨等有关,得出灰霾天气的未来 24 小时预报决策数,如图 5。PM_{2.5} 数据来自南宁市环保局的监测,地面要素来自 08 时的南宁市气象局观测站资料,降雨及温度、露点温度的预报值来自前一天 20 时起报的欧洲细格点数值预报产品。该预报模型每天上午和下午运行两次,对当天和次日有无灰霾天气作出预报,决策树中的阈值根据上午起报和下午起报作出微调。

5 小结

(1)南宁各县(区)出现霾日数最多的是南宁吴圩站,其次是上林、宾阳、邕宁、南宁城区站及横县,最少的是马山和武鸣。

(2)灰霾天气主要与低层静稳大气层结密切相关,在 08 时的探空图上,850hPa 以下出现逆温层结的个例占 92%。

(3)灰霾天气出现时,地面多为静风或弱的偏北风,气压值较高,24 小时变压较小,14 时湿度较小,一般连续三天以上无雨,但过程结束时,只有三分之一是有雨的。

(4)南宁的灰霾天气中,整天出现霾的干型灰霾天气占 18%,主要出现在冬季,主要表现为强冷空气源地不断分裂冷空气南下,使南宁市上空长时间为冷高压或变性冷高压控制,边界层非常干,当低层切变线北退,出现逆温时,北方的空气污染物输入和本地污染物的堆积,造成灰霾天气。

(5)南宁市的灰霾天气中,清晨表现为雾,到中午下午转化为霾的湿型灰霾天气占 82%,其中又可分为高后型、弱冷空气型和副高型三类,前两类主要特点是冷空气较弱,静稳天气长时间维持,空气污染物

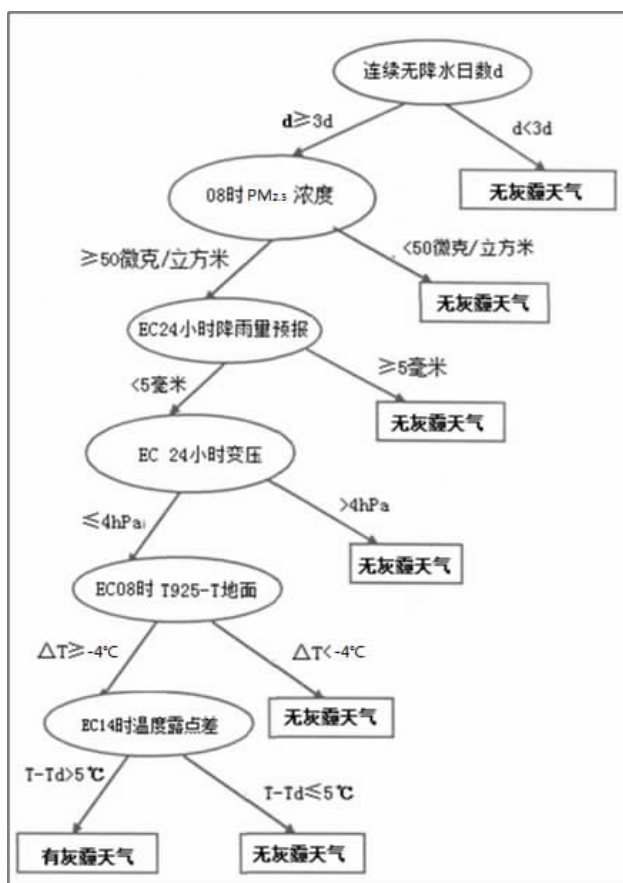


图 5 南宁市灰霾天气预报决策树

浓度较大, 天气在雾和霾之间转化, 后者主要出现在秋季, 副高控制南宁长时间无雨, 夜间晴朗有辐射逆温, 静稳天气不利于空气污染物扩散, 导致霾的出现。

(6) 通过灰霾天气出现时的特征, 利用地面风速、变压、温度露点差及探空逆温层强度、结合 PM_{2.5} 的监测数据以及数值预报的降雨和温度、湿度产品, 建立南宁市灰霾天气的客观预报模型。

参考文献:

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 23.
- [2] 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报 [M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [3] 吴兑. 霾与雾的识别和资料分析出来 [J]. 环境化学, 2008, 27 (3): 327-330.
- [4] 吴兑. 再论相对湿度对区别都市霾与雾 (轻雾) 的意义 [J]. 广东气象, 2006, (1): 9-13.
- [5] 张宝贵, 孙丽华. 秦皇岛市空气污染与气象要素的关系 [J]. 气象与环境学报, 2009, 25 (4): 43-47.
- [6] 李德平, 程兴宏, 于永涛等. 北京地区三级以上污染日的气象影响因子初步分析 [J]. 气象与环境学报, 2010, 26 (3): 7-13.
- [7] 孙燕, 张备, 严文莲, 等. 南京及周边地区一次严重烟霾天气的分析 [J]. 高原气象, 2010, 29 (3): 794-800.
- [8] 张方, 顾万龙, 姬兴杰. 河南 1981 年以来霾日变化特征分析 [J]. 灾害学, 2014, (2): 65-68.
- [9] 王勇, 刘严萍, 李江波. 水汽和风速对雾霾中 PM_{2.5}/PM₁₀ 变化的影响 [J]. 灾害学, 2015, (1): 5-7.
- [10] 隋平, 王宏, 冯宏芳. 1996-2005 年福州灰霾与天气形势关系的统计分析 [J]. 福建气象, 2009, (1): 29-32.
- [11] 代佩玲, 刘和平, 朱玉周等. 郑州市霾天气的气候特征分析 [J]. 气象与环境科学, 2009, (32): 16-18.
- [12] 魏建苏, 孙燕, 严文莲等. 南京霾天气的特征分析和影响因子初探 [J]. 气象科学, 2010, 30 (6): 868-873.
- [13] 吴蒙, 范绍佳, 吴兑等. 广州地区灰霾与清洁天气变化特征及影响因素分析 [J]. 2012, 32 (8): 1409-1415.
- [14] 陆忠艳, 林海峰, 孙晓巍等. 辽宁省霾日的天气形势配置及客观预报方法研究 [A]. 第 31 届中国气象学会年会 S2 灾害天气监测、分析与预报分会场, 2014.
- [15] 毛宇清, 孙燕, 姜爱军等. 南京地区霾预报方法试验研究 [J]. 气候与环境研究, 2011, (5): 273-279.
- [16] 杨琳. 深圳市灰霾天气的时空分布特征与灰霾预警方案的设计 [A]. 第 28 届中国气象学会年会 S7 城市气象精细预报与服务分会场, 2011.
- [17] 李芳, 付晓辉, 祁东平等. 宜昌市灰霾天气分型及预报方法初探 [J]. 贵州气象, 2010, (S1): 85-87.
- [18] 邓涛, 邓雪娇, 吴兑, 等. 珠三角灰霾数值预报模式与业务运行评估气象科技进展 2012 (2): 38-44.
- [19] 廖国莲, 曾鹏, 郑凤琴, 等. 1960-2009 年广西霾日时空分布变化特征 [J]. 应用气象, 2011, 22 (6): 732-739.
- [20] 莫雨淳, 廖国莲, 郑凤琴. 南宁市霾的特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (1): 92-95.
- [21] 白龙, 苏兆达, 梁岱云. 南宁市一次中度霾天气过程成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (4): 71-75.
- [22] 黄丽超. 东兴灰霾天气特征及影响因素分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (S1): 232-233.
- [23] 蒋珍姣, 龙凤翔, 李艳玉, 等. 桂林市近 10 年霾的变化分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (1): 68-69+79.
- [24] 程爱珍, 曾行吉. 南宁市霾天气的分布特征及其危害影响分析 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (14): 6400-6402.
- [25] 刘传. 南宁市灰霾天气与空气污染物关系分析 [J]. 广西科学院学报, 2012, 28 (4): 306-308.
- [26] 唐利利, 何莉, 陈家宝, 等. 南宁市一次严重空气污染期间颗粒污染物特征及气象条件分析 [J]. 广西科学院学报, 2012, 28 (4): 302-305.
- [27] 中国气象局. QX/T113-2010. 霾的观测和预报等级 [S]. 北京: 气象出版社, 2010.